

мации применительно к процессам обработки металлов давлением// Збірник наук. праць «Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій».-Днепропетровск: Навчальна книга, 1998, Т.3.-С.130-145. 5.Чигиринский В.В. Плоская задача теории пластичности в цилиндрических координатах// «Прогрессивные технологии пластической деформации».- М.: МИСиС, 2009.-С.345-351. 6.Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением.- М.: Машиностроение, 1977.-422 с.

УДК 621.7.044

БОРИСЕВИЧ В.К., докт. техн. наук, проф., НАУ им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков

НЕВЕШКИН Ю.А., м. н. с., НАУ им. Н. Е. Жуковского "ХАИ"

ТРЕТЬЯК В.В., канд. техн. наук, доц., НАУ им. Н. Е. Жуковского "ХАИ"

К РАСЧЕТУ НЕОБХОДИМОЙ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКОЙ

В статье проведен анализ возможного подхода к расчету деформирующих усилий и энергии деформирования сложных объемных деталей. Предложено использование программного комплекса DEFORM для этих целей. Приведены примеры расчета.

В статті проведено аналіз можливого підходу до розрахунку деформуючих зусиль та енергії деформування складних об'ємних деталей. Запропоновано використання програмного комплексу DEFORM для цих цілей. Наведені приклади розрахунку.

In the article the analysis of the possible going is conducted near the calculation of deforming efforts and energy of deformation of difficult by volume details. Drawing on a programmatic complex DEFORM is offered for these aims. The examples of calculation are resulted.

Объёмная штамповка – одна из самых прогрессивных технологий получения заготовок, а в ряде случаев и готовых деталей для изделий машиностроения, приборостроения, радиоэлектронных и вычислительных средств.

По данным машиностроительных, в том числе и аэрокосмических, предприятий до 75% заготовок и деталей изготавливается методами штамповки.

Специфической особенностью процесса штамповки является высокая стоимость инструмента – штампов. Этот фактор предъявляет особо жесткие требования к качеству разработки технологических процессов. В процессе работы штампы испытывают большие напряжения, вызываемые деформирующими усилиями, развиваемыми машиной (молотом, прессом). Нагрев рабочих частей штампа в процессе эксплуатации до температур отпуска резко снижает их стойкость [1].

Для выбора оборудования, а также определения стойкости штампов и оптимизации процессов штамповки требуется исследование его напряженно-деформированного состояния. В последнее время широкое распространение получили пакеты программ, основанные на идеологии метода конечных элементов, позволяющие моделировать процессы горячей штамповки.

В современном машиностроительном (самолето-, ракето-, двигателестроительном) производстве постоянно возникает необходимость в изготовлении но-

вых видов продукции, где используются всё более совершенные и сложные детали. Появление новой нетиповой номенклатуры всегда вызывало трудности у инженеров и технологов заводов не только при запуске производства, но и на этапах разработки. Ввиду сложных параметров изготавливаемой продукции даже самые опытные технологи не могут абсолютно точно проанализировать заранее правильность всего разработанного технологического процесса. Особенно остро данная проблема стоит в области обработки металлов давлением, а именно для объёмной штамповки.

Применение современных пакетов программ для проектирования технологий различных видов производств в основном ориентировано на уменьшение сроков подготовки производства, отладки технологии, а также минимизации финансовых затрат. Проектирование технологических процессов в современных CAD/CAM/CAE системах позволяет также сократить затраты, которые могут появиться в процессе производства, так как сейчас возможно более точно прогнозировать дефекты различного рода связанные с недоработкой технологии.

Анализируя периодическую литературу можно с уверенностью сказать, что возрос интерес к CAE-системам в области обработки металлов давлением, как к надёжному средству, с помощью которого можно за оптимально короткое время проектировать технологические процессы любой сложности. Однако еще на многих предприятиях не спешат внедрять в процесс проектирования современные CAE-системы, либо из-за высокой стоимости программных продуктов, либо просто пренебрегая современными достижениями в области технологии, откладывая этот переход на "завтра". Но тем не менее этот процесс неизбежен и в скором будущем интегрированные CAD/CAM/CAE-системы займут свое место в процессе проектирования и подготовки производства, а те кто этого не сделал, будут просто вытеснены с рынка.

Стремления технолога кузнечно-прессового производства без проведения эксперимента, на основе расчета, определить необходимую деформирующую силу, рассчитать требуемое число переходов получения поковки заданной формы, предельное формоизменение без разрушения деформируемого материала, получить исходные данные для расчета на прочность и стойкость деформирующего инструмента, а также технологические параметры во многом осуществимы благодаря использованию современных специализированных программных средств. На сегодняшний день для решения конкретных технологических задачковки и штамповки предлагаются различные компьютерные программы, как на Западе, так и в России. Общеизвестными лидерами в этом направлении считаются американские компании SFTC с системой DEFORM и MSC с системой Autoforge/Superforge, французская компания TRANVALOR с системой FORGE и российская компания "Квантор-Софт" с системой QForm.

Выбор программного решения для моделирования основывался на сравнении возможностей упомянутых программных комплексов. Сравнение DEFORM и QForm показывает явное преимущество первого и поэтому DEFORM был выбран в качестве программного комплекса для моделирования объёмной штамповки.

Для определения потребной энергии деформирования, а также отслеживания дефектов, производилось компьютерное моделирование процесса штамповки для отобранных деталей.

Исходными данными для моделирования послужили:

- 1) конструкция штампа;
- 2) геометрия исходной заготовки;
- 3) кривые упрочнения материала каждой детали;
- 4) кривые удельной теплопроводности и теплоемкости;
- 5) условия трения (закон Кулона);
- 6) характеристики оборудования (нагружения);
- 7) температура.

Схематично постановку и решение задачи, можно представить графически (рис. 1).

Рассмотрим моделирование процесса штамповки заготовки детали "шестерня ведущая". Это осесимметричная задача и ее можно рассматривать в двумерной постановке в модуле DEFORM-2D.

По чертежу заготовки (с учетом расширения материала при нагреве) спроектированный штамп был выполнен в среде SolidWorks и импортирован в DEFORM Pre-Processor в виде верхней и нижней матрицы. Геометрия исходной заготовки получена при помощи встроенных примитивов. Предварительное моделирование показало, что наличие в верхней части заготовки радиуса скругления больше 0,5 мм приводит к образованию "складки" (замятию материала) в верхней части детали. Поэтому заготовка была изменена (уменьшен радиус в верхней части).

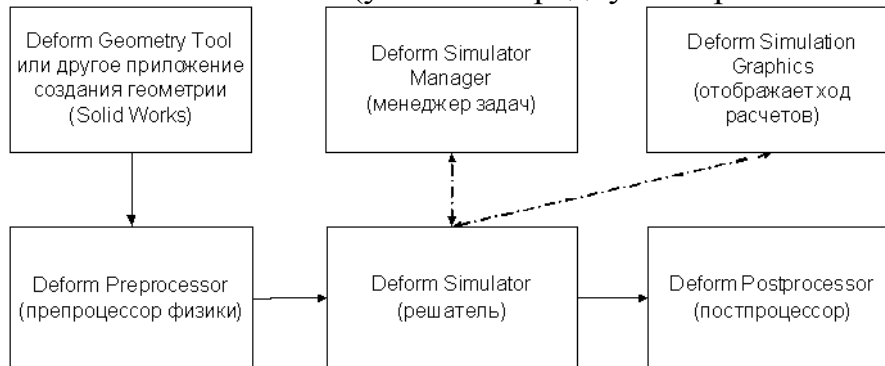


Рис. 1. Схема постановки и решения задачи с использованием пакета DEFORM

Моделирование штамповки шестерни было разделено следующим образом:

1. Нагрев заготовки в печи в течение 40 минут (расчет теплообмена).
2. Перенос нагретой заготовки (1160°C) от печи к штампу. Длительность 10 с (расчет теплообмена).
3. Нахождение заготовки на нижнем штампе. Длительность 3 с (расчет теплообмена).
4. Штамповки на молоте (расчет теплообмена и деформирования).

Установив необходимые параметры точности сетки, получили некоторое представление исследуемого объекта. Разделив общее время на 116 шагов (по 15 секунд каждый), задав температуру окружающей среды 1160°C и температуру за-

готовки 20°C, перешли к следующему этапу постановки задачи – разбиение заготовки на конечные элементы. В ходе разбиения была получена сетка с 987-ю элементами. Размер наименьшего элемента составил 0,62 мм, при соотношении наибольшего элемента к наименьшему равному 3. Определение граничных условий теплопередачи заготовки заключались в указании поверхностей испытывающих теплообмен с окружающей средой. В качестве таких поверхностей были выбраны один торец и наружная цилиндрическая поверхность (считаем, что заготовка лежит в печи и ее нижняя поверхность (торец) не подвержена теплообмену).

После задания материала кривыми упрочнения (сталь 14ХГСН2МА-Ш), удельной теплопроводности и теплоемкости было произведено моделирование процесса нагрева заготовки в печи, анализ результатов которого показал, что равномерная температура заготовки достигается приблизительно за 25 мин (в заводском технологическом процессе нагревают 29 мин).

Для моделирования процесса переноса заготовки от печи к штампу, а именно охлаждения на воздухе, были пересмотрены параметры моделирования. За исходный шаг был выбран 101й шаг базы данных (на котором все точки заготовки имеют равномерную температуру 1160°C). Также были пересмотрены граничные условия, т.к. теперь уже вся поверхность заготовки будет участвовать в теплообмене со средой. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

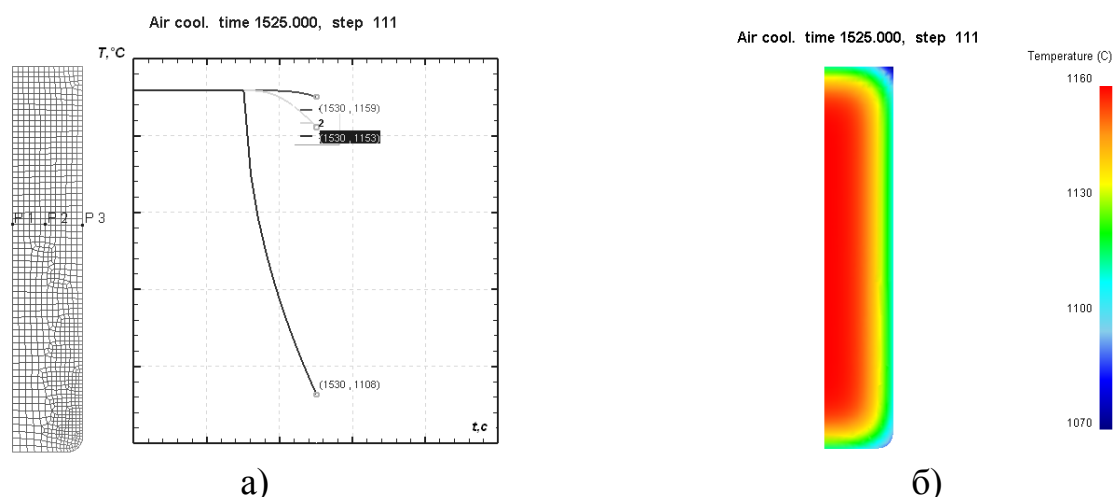


Рис. 2. Результаты моделирования процесса переноса заготовки от печи к штампу:
а – охлаждение в реперных точках P_1, P_2, P_3 ;

б – распределение температуры по заготовке после переноса к штампу

При моделировании нахождения заготовки в нижнем штампе (с момента установки ее в штамп и до момента контакта с верхним штампом) понадобилось добавить в задачу геометрию оснастки и задать необходимые параметры точности сетки, данные по материалу, температуре, поверхности взаимодействия с окружающей средой и др. Результат расчета показан на рис. 3.

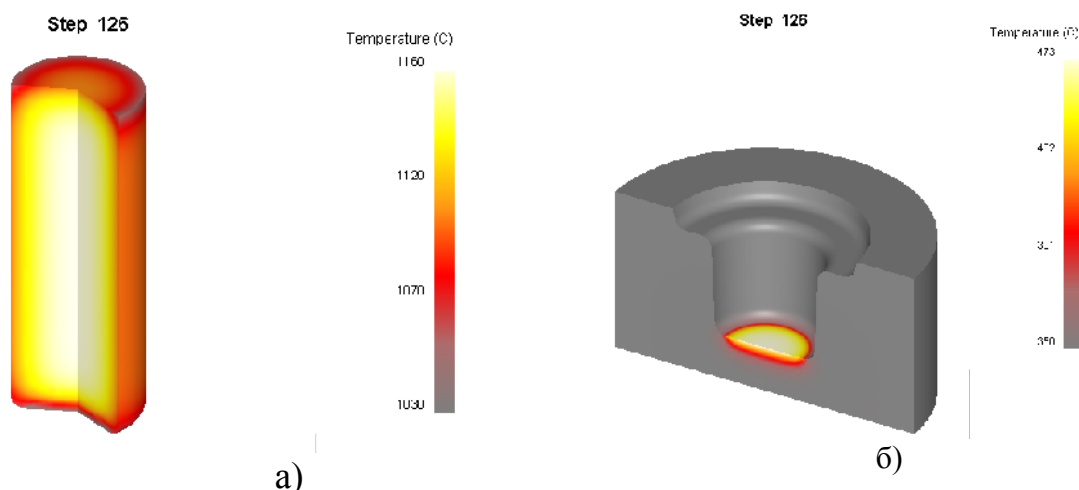


Рис. 3. Результат моделирования пребывания заготовки в нижнем штампе:
а – распределение температуры в заготовке после 3х секунд пребывания в нижнем штампе;
б – распределение температуры в нижнем штампе.

Для моделирования штамповки на молоте в задачу была добавлена геометрия верхнего штампа. Определены граничные условия, заданы параметры движения верхнего штампа, а именно: энергия молота 50 кДж, масса падающих частей 3150 кг, эффективность удара 0,8. Результат моделирования представлен на рис. 4.

Из рис. 4,е видно, что энергия необходимая для формоизменения нашей заготовки составляет величину $A_{номр} = 2,83171 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 28,317 \text{ кДж}$.

Автором работы [2] было показано, что КПД рассматриваемых установок может достигать 30%.

Определим массу заряда БВВ (ТЭН) необходимого для формообразования рассматриваемой заготовки.

КПД процесса можно определить по формуле:

$$\eta = \frac{A_{номр}}{A_{расп}},$$

где $A_{номр}$ – потребная работа, та, которую нужно приложить к заготовке для ее деформирования;

$A_{расп}$ – располагаемая работа, энергия БВВ.

Тогда

$$A_{расп} = \frac{A_{номр}}{\eta} = \frac{28,317 \text{ кДж}}{0,3} = 94,39 \text{ кДж}.$$

А массу заряда БВВ определим из зависимости:

$$m_{БВВ} = \frac{A_{расп}}{q} = \frac{94,39 \text{ кДж}}{4223 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}} = 0,0225 \text{ кг}.$$

Так же моделировался процесс объемного холодного формообразования детали типа крыльчатка (АМГ2). В связи со сложностью конфигурации моделиро-

вание проводилось в DEFORM-3D. Процесс был разбит на две операции: осадка и выдавливание.

Результат моделирования представлен на рис. 5.

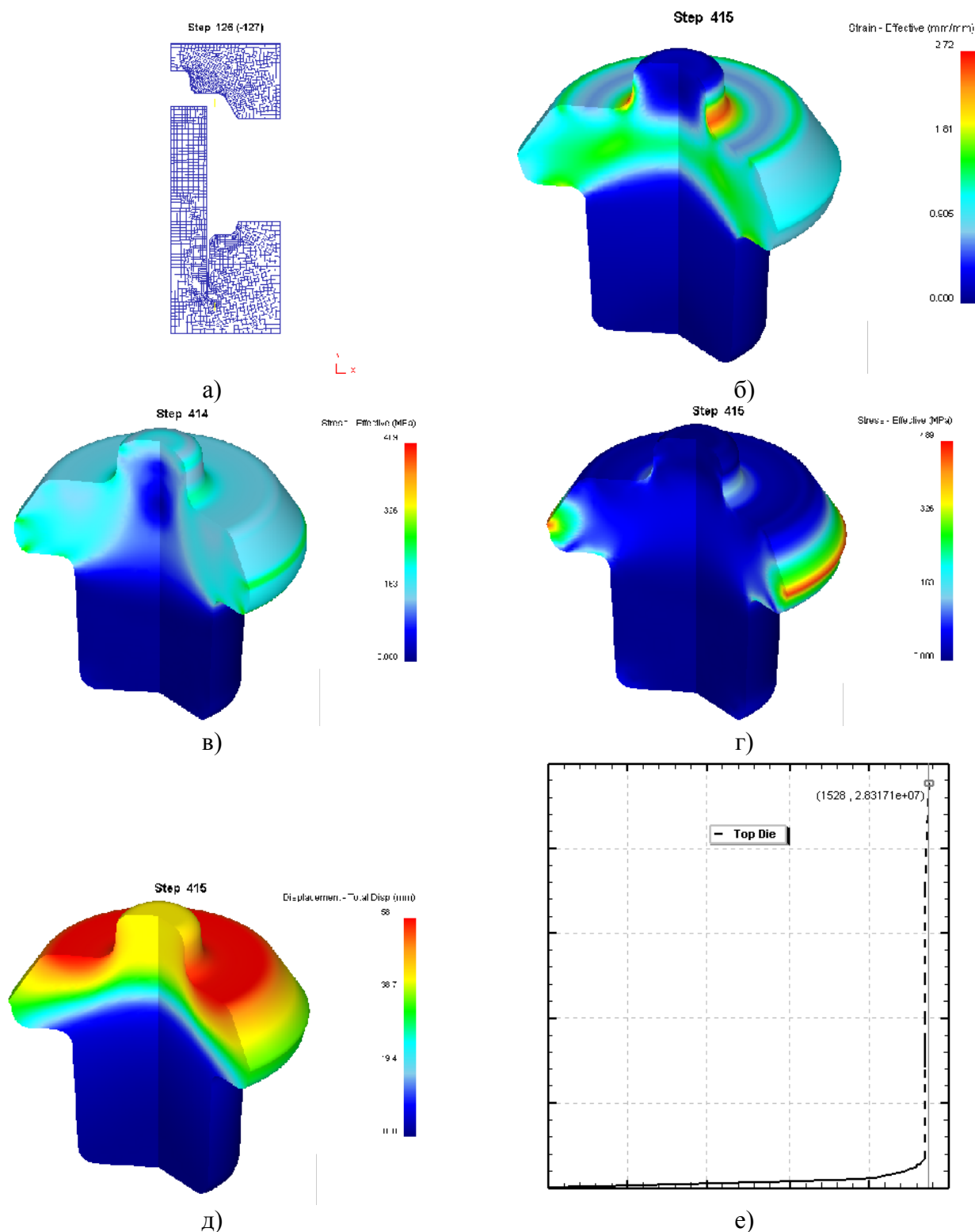
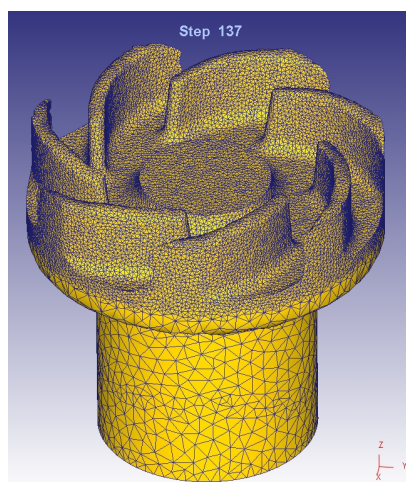
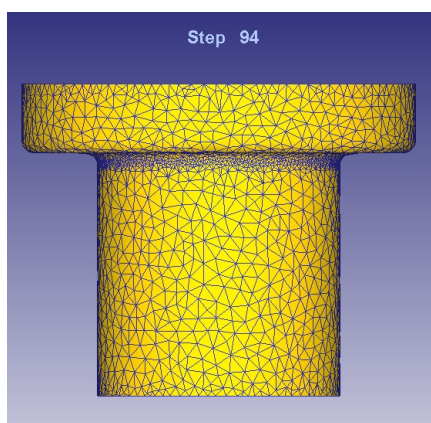
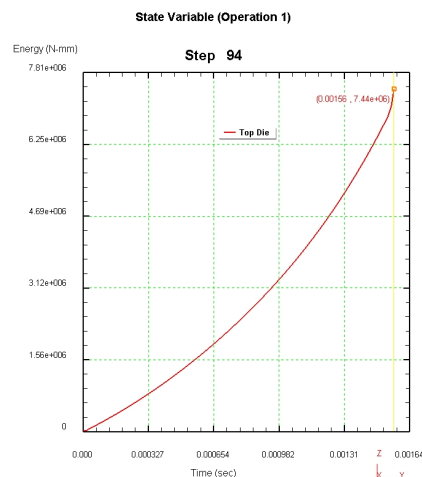


Рис. 4. Моделирование штамповки детали "шестерня ведущая":

а) взаимное расположение объектов и сетка; б) распределение деформаций; в) распределение напряжений на 414 шаге; г) распределение напряжений на 415 шаге; д) Распределение перемещений; е) График изменения энергии во времени



а)



б)

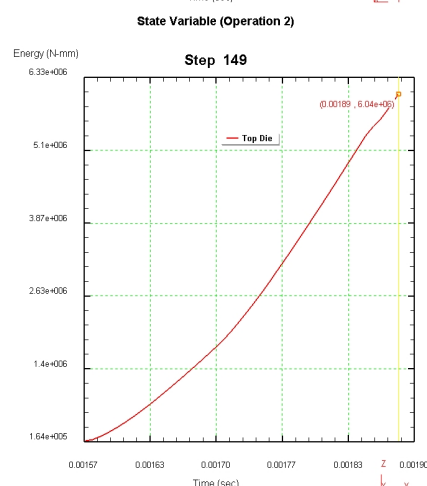


Рис. 5. Заготовка и график изменения энергии во времени:
а – после осадки; б – после операции выдавливания

Суммируя значения потребных работ по операциям, получаем

$$A_{\text{номр}} = 13,48 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 13,48 \text{ кДж}.$$

Тогда

$$A_{\text{расп}} = \frac{A_{\text{номр}}}{\eta} = \frac{13,48 \text{ кДж}}{0,3} = 44,93 \text{ кДж} \text{ и } m_{\text{БВВ}} = \frac{A_{\text{расп}}}{q} = \frac{44,93 \text{ кДж}}{4223 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}} = 0,0107 \text{ кг} \approx 11 \text{ г}.$$

В результате проведенных исследований было установлено, что данные расчетов основных технологических параметров, выполненных на ЭВМ с помощью программного комплекса DEFORM, отличаются от фактических на 5–35%, которые должны корректироваться при отработке технологических процессов штампуемых деталей.

Для получения результатов находящихся еще ближе к фактическим, необходимо проводить дополнительные исследования для каждого материала заготовки и штамповой оснастки, осаживая цилиндрические образцы и подбирая коэффициенты трения при моделировании.

Список литературы: 1. Глушак Б. Л., Куропатенко В.Ф., Новиков С. А. Исследование прочности материалов при динамических нагрузках. – Новосибирск: Наука. – 295 с. – 1992. 2. Шкалова А.В. Определение КПД и других параметров штамповки взрывом по новой схеме нагружения // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – Москва. – 1999, № 11. – с. 23 – 24.